

치과수복을 위한 접착치학의 현황

Current adhesive dentistry for dental restoratives

전남대학교 치과대학 치과재료학교실

부교수 박 영 준

접착치학은 지난 수년동안 괄목할 만한 속도로 발전하고 있어서, 임상 술식은 새로운 재료의 개발과 함께 지속적으로 변화되어 간다. 치아의 수복시 수복재료와 치아간에 접착성 수복이 행해짐으로써 강력한 유지력이 얻어질 뿐만 아니라, 변연봉쇄성의 향상, 건전 치질의 보전에 따른 치수의 안정성 확보, 술후 지각과민 예방, 이차우식의 억제 등에 큰 역할을 한다. Buonocore(1955)가 레진수복시 법랑질면의 산부식(acid etching)에 의해 수복재료의 와동내 유지력이 크게 개선됨을 발표하여 접착치학의 제 일보를 내딛게 되면서 수복치과학에 있어서 하나의 새로운 시대를 열게 된 계기가 되었다. 치과수복에 있어서 접착치학의 응용은 콤포짓트 레진의 직접 또는 간접수복에서부터 접착성 시멘트, 도재 및 레진의 수리(repair), 접착성 아말감 수복, 과민치아의 처치(desensitization) 등 다양한 범위에 응용된다.

특히, 1985년 이후 방대한 연구보고가 있어 접착치학의 발달을 실감할 수 있지만, 임상가가 한 술식에 익숙해지려고 하면 벌써 더 좋은 결과를 내는 재료와 술식이 소개되기 때문에 치과의사는 접착제의 선택과 그 사용에 있어서 새로운 발전에 대응하는데 많은 노고가 따른다. 예로서 상아질 접착제의 경우 치과의사가 4세대 접착제의 사용 술식에 익숙해지려고 하면 5세대를 표방한 제품이 나오고 거기

에 다시 익숙해지려고 하면, 또 다시 6세대라 표방되는 산부식제, 프라이머, 본딩레진의 역할을 한꺼번에 처리하는 소위 'all-in-one' 시스템이라고도 불리어지는 자가부식 접착제(self-etching adhesive)가 개발되어서, 산부식제 적용 후 수세과정과 민감한 건조과정이 없어졌고, 따로 프라이머와 본딩레진을 나누어 처리해주지 않기 때문에 술식의 단계가 크게 간소화 되었다.

따라서 우리 치과 의사들은 접착제의 선택과 사용에 있어서 이러한 매우 혼란스럽고 때로는 당황하게 만드는 상황을 접하게 된다. 하지만, 대부분의 모든 접착 시스템에 적용될 수 있는 기본적인 개념을 이해하고 있다면 이러한 변화에 쉽게 적응할 수 있을 것이다.

본 글에서는 치과 접착치학의 넓은 범주 중에서도 주로 상아질 접착제에 대해서 살펴볼 것이며, 각 접착시스템을 사용할 경우에 있어서 혼동하기 쉬운 부분과 주의할 사항 및 그 이유에 대해 중심으로 언급하고자 한다.

1. 상아질 접착제의 요구사항

레진과 치아간의 성공적인 결합은 상아질 접착제가 다음의 성질을 만족할 때 이루어진다.

- ① 접착면을 잘 적셔야 한다.

접착제는 상아질이나 법랑질 표면과 낮은 접촉각을 이루어서 잘 적실 수 있어야 하며, 피착면은 깨끗한 상태이어야 큰 표면에너지를 가져 접착제에 의해 잘 적셔지게 된다.

② 상아질 표면을 깊숙이 까지 침투하여 스며들어야 한다.

상아질 액이나 수분을 대체하면서 산처리된 상아질 표면을 잘 스며들 수 있어서 상아질의 유기 또는 무기질과 결합되어야 하므로 친수성이어야 한다. 또한 소수성의 콤포짓트 레진기질과도 결합하여야 하므로, 상아질 접착제는 분자내에 친수성 그룹과 소수성 그룹을 동시에 가지고 있어야 한다.

③ 화학적 결합이 가능해야 한다.

상아질의 무기성분에 이온결합을 통하여 화학적으로 결합되거나, 상아질의 유기성분에 공유결합을 통하여 화학적으로 결합하여야 한다.

④ 처리된 치아면과 미세기계적 결합을 하여야 한다.

산부식된 법랑질의 요철부위에 스며들고, 산에 의해 탈회된 상아질의 콜라겐 망 사이에 스며들어서 경화됨으로써 기계적인 결합력을 제공해야 한다.

⑤ 중합 수축력이나 저작력에 의한 응력에 저항할 수 있어야 한다.

수복물의 유지와 변연부의 접착이 구강내 사용에 지속적으로 유지되기 위해서는 상아질 접착제 자체가 강도를 가져야 하며, 응력을 흡수할 수 있으면 더욱 바람직하다.

이상의 요구사항을 만족한 상아질 접착제도 적절한 방법으로 사용되어야 만이 성공적인 접착이 가능하게 된다.

2. 상아질 접착제의 기본 구성

접착시스템을 비교적 간단히 분류하기 위해 '세대'라는 용어를 사용한다. 세대를 구분하는 기준으로 스미어 층의 처리에 따라 또는 구성 성분의 개수에 따라 세대를 구분하게 된다.

제 1세대 제품들에서는 스미어 층을 완전히 제

거하였고, 제 2세대에서는 스미어 층을 제거하지 않고 변형시켰으며, 제 3, 4, 및 5세대부터서는 다시 스미어 층을 제거하게 되었다. 제 3세대와 제 4세대의 차이는 제 4세대에서는 상아질과 법랑질을 함께 산부식하는 total etching을 하고 하이브리드 층(hybrid layer)과 레진 태그의 역할을 중요시하며, 다양한 재질의 표면에 접착됨을 주장하는 제품들이다.

전통적인 제 4세대 상아질 접착제를 사용한 치과용 콤포짓트 레진의 충전에 있어 상아질 표면은 다음 세 단계의 처리가 되어져야 한다. 다른 제 5세 및 제 6세대 상아질 접착의 경우에 있어서도 이러한 접착기구에 기초하여 접착제면을 만들어 간다고 해야 될 것이다.

높은 점도의 치과용 콤포짓트 레진을 적용하기 전 상아질 표면의 처치를 위해 multi-component system의 경우 다음의 기본적인 3단계 술식에 의해 행해진다.

① 상아질 컨디셔닝(surface conditioning)

상아질 산부식제(dentin conditioner)에 의해 상아질 표면을 접착에 적합하게 만들어야 한다.

② 프라이머 처리(surface priming)

상아질 컨디셔닝 후에는 상아질에 대해 우수한 적심도와 침투성을 가지며, 화학적 결합을 하고, 충분한 강도를 갖는 상아질 프라이머(dentin primer)로 처리하여 주어야 한다.

③ 본딩레진 처리(intermediary layering of fluid resin)

낮은 점도의 본딩 레진(bonding resin)을 처리해 준 후, 콤포짓트 레진으로 수복해 주면 기계적, 심미적, 생물학적으로 우수한 수복이 될 수 있다.

따라서, 기존 대부분의 3, 4세대 상아질 접착제 세트에는 상아질 상의 스미어 층을 처리하는 어떤 종류의 상아질 컨디셔너와 상아질 프라이머 및 본딩레진이 들어있다. 구성성분의 개수에 따라 제 4세대까지는 산처리제와 프라이머 및 본딩레진으로 구성되었지만, 5세대에서는 구성물의 개수를 줄여 'one-bottle adhesives'로 분류되었다. 하지만, 이

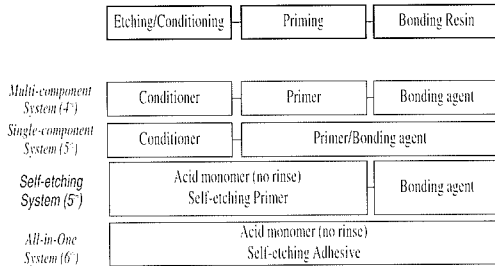


그림 1. 상아질 접착제 시스템의 종류에 따른 구성물의 차이

들의 경우에서도 진정 하나의 구성물로 전 접착과정을 완전히 해결하는 것은 아니었다. 산 컨디셔너와 프라이머/본딩레진, 또는 자가부식 프라이머와 본딩레진의 형태로서 2가지의 구성물로 이루어진다.

최근 1999년부터서는 진정한 'all-in-one' 상아질 접착제가 선보였는데 이를 제 6세대 상아질 접착제로 분류한다. 이들 제품에서는 산 컨디셔너, 프라이머, 본딩레진의 기능을 하나의 구성물로 해결한다.

위 그림 1에서는 각 상아질 접착제 시스템의 종류에 따른 구성물의 차이를 도식적으로 비교하였다.

다음 표 1에는 각 세대에 속하는 제품들의 예를 나열하였다.

3. 제 4세대 다성분 시스템(multi-component system)의 사용시 힌트

1) 상아질 표면과 그 처리

법랑질에서는 인산을 이용하여 무기질을 탈회시켜 생긴 미세침와를 수복용 레진의 기계적인 결합에 이용하고 있다. 반면, 상아질은 살아있는 조직이기 때문에 접착되기에 법랑질에 비해 더 까다롭다. 상아질은 50%가 무기질이고, 30%는 주로 제 1형 콜라겐으로 이루어진 유기질이며, 20% 정도는 액체가 차지하고 있다. 상아질은 수분 함량이 높으며 많은 다공성 상아세관을 통해 용액이 지속적으로

표 1. 각 세대별 상아질 접착제의 제품 예

① 제 1세대 상아질 접착제	② 제 2세대 상아질 접착제	③ 제 3세대 상아질 접착제
Scotchbond (3M)	Scotchbond 2 (3M)	All-Bond (Bisco)
Prisma Universal Bond (Caulk)	Mirage Bond (Chameleon)	Scotchbond Multi-Purpose(3M) Prisma
Bondlite (Kerr)	Gluma (Bayer)	Universal Bond 3 (Caulk)
Creation Bond (Den-Mat)	Tenure (Den-Mat)	Denthesive II (Kulzer)
J&J DBA (Johnson & Johnson)	XR Primer/Bond (Kerr)	Aelitebond (Bisco)
Dentin Adhesit (Vivadent)	Pertac Universal Bond (ESPE)	Gluma 2000 (Bayer)
DBA (Lee Pharmaceuticals)		Clearfil Bond (Kuraray)
Clearfil New Bond (Kuraray)		Syntac (Vivadent)
④ 제 4세대 상아질 접착제	⑤ 제 5세대 상아질 접착제	⑥ 제 6세대 상아질 접착제
All-Bond 2 (Bisco)	Prime & Bond 2.0, NT (Caulk)	One-Up Bond F (Tokuyama)
Pro-Bond (Caulk)	One-Step (Bisco)	Prompt L-Pop (ESPE)
Opti-Bond (Kerr)	One Coat Bond (Coltene)	Etch & Prime 3.0 (Degussa)
Scotchbond Multi-Purpose Plus (3M)	Tenure-Quik (Den-Mat)	Xeno CF Bond (Sankin)
OptiBond FL (Kerr)	Bond-1 (Jeneric-Pentron)	AQ Bond (Sun Medical)
	Single Bond (3M)	Reactmer Bond (Shofu)
	EG-Bond (Sun Medical)	
	Optibond Solo (Kerr)	
	PQ 1 (Ultradent)	
	Excite (Vivadent)	
	Mac Bond II (Tokuyama)	
	Clearfil SE Bond (Kuraray)	
	Unifil Bond (GC)	
	Tyrian SPE (Bisco)	

수복재료를 쪽으로 빠져 나와 접착에 불리하다. 또한 열린 상아세관을 통하여 잔류 단량체나 산이 치수로 전달될 우려가 있다.

이런 이유로 상아질 접착제의 개발은 법랑질 접착제에 비해 늦어졌다. 그러나, Fusayama 등(1979)이 37% 인산으로 법랑질과 상아질을 동시에 에칭하여도 치수 자극 빈도는 더 늘어나지 않고 대신에 수복물의 유지가 더 향상됨을 보고하면서, 상아질 접착은 관심을 갖게 되었다.

㉞ 상아질 산부식제(dentin conditioner)

Nakabayashi 등(1982)이 산으로 처리(etching)된 상아질을 친수성 레진이 침투해 들어가서 레진 함입 상아질로 구성된 하이브리드 층(hybrid layer)을 형성함을 보고하였다. 그러나, 일본을 제

의한 대부분의 국가들에서는 산부식이 치수에 대해 손상을 줄 것이라는 생각 때문에 1990년대 초반이 되어서야 상아질 산부식이 인정받게 되었다.

상아질 산부식제는 치질 절삭에 따른 스미어 층을 제거하며, 상아질 표면을 부분적으로 탈회시킴으로써 유기 콜라겐 섬유망이 노출되게 하고 상아세관을 노출시킨다. 일반적으로 상아질에 대해서는 10% phosphoric acid 수용액이나 겔로 약 15초간 처리하며, 이러한 처리에 의해 상아질 표면은 약 4~10 μ m 정도의 깊이로 탈회(decalcification)가 된다.

이러한 산부식제는 수산화인회석이 어느 정도의 비율과 깊이까지 탈회되는지, 콜라겐은 자신을 지탱하고 있는 수산화인회석을 잃어도 원래의 입체배치를 계속 유지하는지, 콜라겐이 산부식제에 의해 변성을 받지 않은지 등을 고려하여 개발되

어진다.

㉔ 상아질 컨디셔닝 후 상아질 프라이머 적용 전 까지 상아질 면의 이상적인 상태

스미어 층을 제거한 상아질에 레진을 접착하기 위해서는 산부식에 의해 형성된 탈회 상아질의 상태가 접착의 성패에 크게 영향을 미친다. 용해된 수산화인회석이 점유했던 공간은 콜라겐의 형상이 변화하지 않으면 물이 점유하고 있다. 이 공간에 접착제가 완전히 흘러들어가 굳게 되면 접착은 비교적 용이하게 달성될 것이다.

① 상아질 컨디셔닝 후에는 상아질 표면을 충분히 세척하고 건조시켜 레진의 결합에 장애가 되지 않도록 하여야 한다. 건조가 끝나면 타액이나 물 등의 다른 오염원에 노출되지 않도록 한다.

② 상아질 컨디셔너에 의해 상아질의 칼슘 성분이 녹아나고 콜라겐 섬유가 노출되면, 노출된 콜라겐 사이사이에는 레진이 완전히 침투하여 레진과 콜라겐이 완전히 혼성되어 있는 하이브리드 층(hybrid layer)을 형성하여야 한다.

이렇게 되기 위해서는 ㉑ 컨디셔닝된 상아질면 자체도 칼슘 성분이 녹아난 탈회 상아질의 콜라겐이 수분에 의해 부풀려진 상태 그대로 유지되어야지, 만일 건조되어 노출된 콜라겐이 주저앉게 되면 치밀한 필름을 형성하여 상아질 프라이머가 잘 침투할 수 없기 때문에 완전한 하이브리드 층의 형성을 기대할 수 없게 된다(Kinney 등, 1993). ㉒ 반대로, 너무 과도하게 수분이 많이 남아있으면 상아세관으로 레진이 침투해 들어가기 힘들어지고 레진으로 채워진 하이브리드 층 상방에 미세한 물방울이 남아있고 그 위에 접착레진이 덮고 있는 부분이 생기게 되어(Tay 등, 1996) 접착의 실패 원인이 되므로, 너무 과도한 수분상태는 역시 피해야 한다.

㉕ 상아질 컨디셔닝 후 습기가 적당한(moist) 상아질의 생성방법

따라서, 상아질 컨디셔너 처리 후 수세를 완전히 하고 여분의 물은 제거하되, 상아질 표면이 습기를

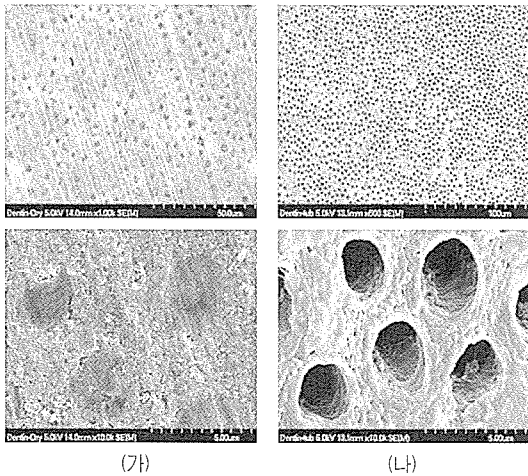


그림 2. 가) 절삭된 상아질 표면으로서 스미어가 상아세관을 막고 있다(위: 500배; 아래: 10,000배). 나) 35% H₃PO₄용액에 의해 처리된 상아질 표면으로 스미어 층이 제거되어 상아세관이 노출되어 있다(위: 500배; 아래: 10,000배). 상아세관은 일반적으로 상아질 표면 mm² 면적에 대해 8,000~60,000개가 있으며, 상아질 표면 콜라겐 섬유들 사이의 간격은 약 15~20 nm의 아주 좁은 공간이 있다. 산부식 후 이러한 공간들이 접착성 레진에 의해 채워져야 우수한 접착성과 내구성을 이룰 수 있으며, 산부식 후 이들 노출된 상아세관이 일부라도 레진에 의해 채워지지 않으면 슬후 자각과민의 원인이 된다.

충분히 함유하고 있어 눈으로 보기에 광택이 있을 정도로만 수분을 가볍게 제거해준다. 이것은 ① 에어쉬린지에서 나온 공기로 짧은 순간 가볍게 ‘팍’ 불든지 ② 미니 스폰지나 코튼 펠렛으로 물을 빨아들이는 정도로만 행해준다. 또는, ③ 충분히 건조 후 rewetting agent(예로서 35% HEMA 수용액)를 사용하여 재차 wetting시켜주는 방법도 좋은 방법이다.

Tay 등(1996)은 코튼 펠렛으로 물을 빨아들일 경우(blot-drying) 레진이 충분히 탈회층 저부까지 잘 침투하여 들어갔지만 군데군데 수분이 제거되지 않은 부위에서는 레진 globule을 함유한 물방울들이 관찰되었고, 이러한 부위는 하이브리드 층과 레진간 분리의 원인이 됨을 지적하였다. Perdigão 등(1998)에 의하면, 과도한 건조의 경우 가장 낮은 전단결합강도를 보였고, 가벼운 건조의 경우와 blot-drying의 경우는 비슷한 결합강도를 보였으며, 건조 후 rewetting agent (예로서 35% HEMA 수용액인 Bisco사의 Aqua-Prep)를 사용하여 재차 wetting시켜줄 경우가 가장 높은 전단결합강도를 보였다고 보고하였으며, 이 방법이 일관성 없는 수분조절의 우려가 없어서 권장할만하다.

요약하자면, 탈회된 상아질의 콜라겐 망 구조를 프라이머 적용 전까지 습기가 있도록 유지시켜야 하며, 너무 과도한 수분상태는 역시 문제가 된다.

뿐만 아니라, 수세 후의 수분을 가볍게 제거해주고, 프라이머를 적용한 후에는 프라이머의 용매를 날려주는 과정동안 표면으로 빠져나온 수분을 함께 완전히 건조하는 과정이 프라이머 레진의 광중합 이전에 반드시 충분하게 행해져야 좋은 결과를 얻을 수 있다.

그림 3은 상아질-레진 간 결합계면의 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM) 사진으로 레진태크와 하이브리드 층의 형성 상태를 잘 보여줄 수 있도록 하기 위해 상아질은 6N HCl로 30초간 탈회 후, 5% NaOCl로 10분간 콜라진을 제거하였다. 콤포짓트 레진과 하이브리드 층은 녹아나지 않고 그 높이가 그대로 유지하고 있으며, 탈회처리에 의해 상아

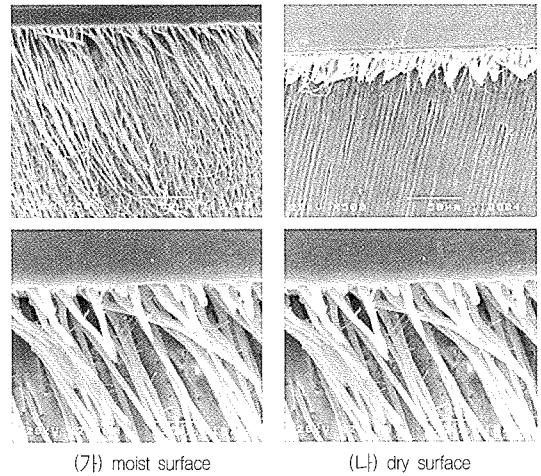


그림 3. 상아질 접착제를 사용(킨디셔널로는 32% H₃PO₄사용)하여 콤포짓트 레진 수복된 치아시편의 상아질-레진 간 결합계면의 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM) 사진.

질은 녹아나서 상아세관 내로 뺀 레진태그의 형상을 관찰할 수 있다. (가) Moist 군은 산부식처리 및 세척 후 표면을 가볍게 건조한 후 접착한 시편으로, 상아질과 레진 사이에 형성된 레진 보강 상아질 층인 하이브리드 층과 상아세관 내 깊숙이 뺀 레진태그에 의해 콤포짓트레진의 치아에 대한 접착이 향상됨을 예상할 수 있다. (나) Dry 군은 산부식처리 및 세척 후 압축공기로 완전히 건조한 시편으로, 과도한 상아질 표면의 건조에 의해 레진이 상아세관 내로 충분히 침투하지 못하며 하이브리드 층의 두께도 얇게 된다. 따라서, 인산용액으로 상아질 표면을 산부식한 후에 산을 충분히 수세해주고, 접착레진을 처리해주기 전까지 그 표면은 습한 상태가 유지되어야 한다. 그림 3은 여러 가지 접착제 중 용매로서 아세톤을 사용한 경우로서, 다른 접착제들의 경우를 살펴보면 일반적으로 용매로서 물을 사용하는 경우보다 아세톤을 사용한 경우가 접착제 처리 전 상아질 표면의 습기 차이에 따른 접착강도와 혼성층 및 레진태그의 형상이 영향받는 민감도가 더 크다(Park 등, 2001). 또한 이러한 영향의 민감도는 접착제 용매의 종류뿐 아니라 접착

제를 발라주는 방법이 붓으로 칠해주는지, 미니 스폰지로 듬뿍 문혀 주는지, 아니면 문질러 주는지에 따라서도 달라진다.

2) 상아질 프라이머

상아질 컨디셔너에 의해 상아질이 부분 탈회되어 노출된 콜라겐 층과 산에 의해 영향받지 않은 상아질 면까지 상아질 프라이머가 깊숙히 침투하여, 그 속에서 치질과 화학적 결합을 함과 동시에 경화되어 상아질-레진 하이브리드 층이 형성되어야 하며, 열린 상아세관은 접착제로 완전히 밀폐되어야 한다. 상아질 프라이머 그 자체는 수분이 차지한 부분을 대체해 나가면서 컨디셔닝된 상아질 표면의 노출된 콜라겐 사이를 깊숙이까지 잘 침투할 수 있고 치질과 화학적인 결합을 제공할 수 있는 조성이어야 한다.

㉗ 상아질 프라이머의 기본구조

상아질 프라이머(dentin primer)의 치질과의 결합양상은 상아질의 무기성분에 이온결합을 통하여 화학적으로 결합되거나, 상아질의 유기성분에 공유결합을 통하여 화학적으로 결합된다. 또한 침투성이 좋은 낮은 점도의 접착성 레진이 노출된 콜라겐 망 사이와 열린 상아세관으로 침투하여 들어가 상아질과 기계적으로 결합한다. 이외에도 약한 분자간 인력이 상아질 프라이머의 결합에 관여하고 있다.

이러한 목적으로 사용되는 상아질 프라이머 기본구조의 모식도를 아래에 나타내었다. 이 모식도에서 ①메타크릴레이트 그룹 부분은 수복용 레진과 공중합을 이룬다. ②스페이서(spacer)는 입체장해(stereoscopic interference)를 방지하는 역할을 한다. 즉, 메타크릴레이트 그룹이 수복용 레진과 결합할 수 있게 하기 위해 충분한 공간과 극성(polarity)을 제공한다. ③기능 그룹(functional group) 부분은 상아질의 Ca^{++} 나, 콜라겐의 NH_2 , NH , OH , $CONH_2$ 또는 $COOH$ 등과 결합한다.

상아질 프라이머 주성분의 한 예로서 4-META의 경우 치질과의 화학결합에 주된 역할을 하는

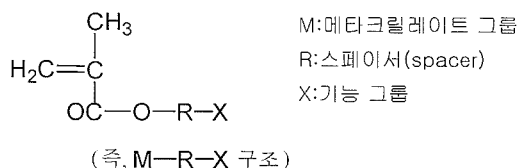
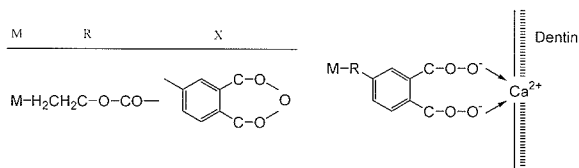


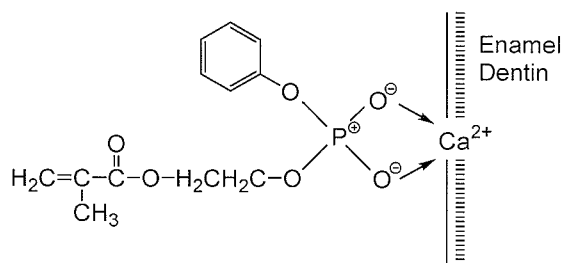
그림 4. 상아질 프라이머의 기본구조

기능 그룹(위 그림에서 -X로 표시)은 aromatic carboxylic acid anhydride로서 무수 그룹이 상아질 표면의 수분과 반응하여 2가의 carboxylic acid를 생성하여 상아질의 칼슘과 chelation 할 수 있게 한다.



4-META = 4-methacryloxyethyl trimellite anhydrate

상아질 프라이머 기능 그룹의 또 다른 예로서 HEMA phenyl phosphate를 들 수 있다. Phosphate 그룹은 부분적인 음전하를 띠고 있다. Phosphate 그룹의 음으로 하전된 산소와 상아질 칼슘이온의 양하전 간의 인력이 생성된다.



HEMA phenyl phosphate

NPG-GMA의 경우는 기능 그룹인 N-phenyl-glycin에서 수소 양이온이 떨어지면서 산소 원자는 음으로 하전된다. 이러한 음하전과 질소원자의 고립 전자쌍이 함께 상아질 표면의 칼슘과 착물 결합(chelate bond)을 형성한다. 또한 상아질 콜라겐과 결합하는 기능그룹을 갖는 상아질 프라이머들이 있다.

㊤ 상아질 프라이머 사용에 의한 하이브리드 층의 생성

위와 같은 다양한 조성을 갖는 여러 제품들이 상아질의 무기질 또는 유기질과 화학적 결합을 함을 X-선 광전자 분광분석(XPS)과 푸리에변환 적외선 분광분석(FT-IR/ATR) 기법 등을 사용하여 밝히고 있지만(Ikemura 등, 1999; Yoshida 등, 2000), 그보다도 성공적인 접착을 위해 더 중요한 것은 상아질 접착제가 상아질 컨디셔너에 의해 부분 탈회된 상아질 면에 흘러 들어가 미세기계적 결합(micromechanical retention)을 하는 점일 것이다.

최근 시판되고 있는 많은 상아질 프라이머들은 친수성과 소수성 그룹을 갖고 있어 상아질 컨디셔너에 의해 부분 탈회된 상아질 면과 상아세관에 스며들어가 증합됨으로써, 레진과 치질이 함께 섞여 보강하는 하이브리드 층이 약 3~4 μ m의 두께로 형성된다. 즉, 상아질과 화학적 결합뿐만 아니라 미세기계적으로도 결합된다.

이 레진/콜라겐 하이브리드 층이 형성됨으로써 상아질과 수복재료 사이의 미세누출이 방지되고, 물속에서 변성되지 않고, 산에 대해 높은 저항성을 가지며, 수복물 변연부에서의 미생물 및 여러 용액의 미세누출을 막아 이차우식, 상아질 지각과민증 및 치수의 염증반응을 줄일 수 있으며, 결합강도가 현저히 증가한다.

레진함량이 많은 수지 함침(resin-infiltrated) 상아질을 만들기 위해서 모노머를 가능한 많이 그리고 부분 탈회된 상아질의 가장 하부까지 상아질 안에 스며들게 하지 않으면 안된다. 따라서, 상아질은 이들 프라이머가 침투하기 쉽게 컨디셔닝 되어야하며, 침투하기 쉬운 프라이머를 선택할 필요

가 있다. 또한, 침투된 모노머의 양과 그것을 어떻게 잘 중합시키는가도 접착강도와 그 안정성을 위해 중요하다.

4. 단일 용액형 상아질 접착제

여러 구성요소로 이루어진 접착시스템(multi-component adhesive system)은 치료술식을 복잡하게 하고 시술시간이 길며, 그 사용의 성공여부는 술자의 재료 사용기술의 숙련도에 민감하게 된다. 이러한 점을 감안하여 상아질 컨디셔너가 프라이머 역할까지 겸한 자가부식형 프라이머(self-etching primer)와, 프라이머와 본딩제의 역할을 단일용액(one bottle)의 접착제만을 사용하여 접착술식을 완료할 수 있는 접착시스템(one-bottle type adhesive)이 개발되었다. 대부분의 제 3세대 및 4세대 치과용 상아질 접착시스템에서는 상아질 컨디셔닝, 상아질 프라이밍 및 본딩제 처리의 3단계 과정이 접착제의 사용시 필요하였다. 하지만, 자가부식형 프라이머를 사용한 제 5세대 접착시스템 이외의 대부분의 5세대 상아질 접착제들은 프라이밍 과정과 본딩제 처리과정을 1단계 과정으로 완결하는 것이다. 이들도 산에 의한 상아질 면의 컨디셔닝 과정이 필요하므로 실제로는 2단계(two-step) 과정에 의해 접착술식이 완결된다.

단일 용액형 접착시스템은 기존 복수 용액형의 프라이머보다 레진모노머의 함량을 증가시켜 본딩 레진의 역할을 할 수 있게 하였고, 더불어 HEMA와 같은 친수성 diluent 모노머와 아세톤과 같은 용매를 사용하여 높아진 레진 함량에도 불구하고 탈회된 상아질의 콜라겐 망을 저부까지 잘 침투하여 하이브리드 층을 형성할 수 있다. 단일 용액형으로 만들기 위해서는 저장기간 동안 재료가 변질되지 않도록 각 접착제들은 독특한 모노머와 광중합 촉매의 조성을 가지고 있다.

1) 단일 용액형 상아질 접착제의 사용시 주의 사항

① 산처리된 상아질의 노출된 콜라겐 망을 저부까지 접착성 레진이 스며들고, 산소에 의해 중합을 방해받은 미반응 층이 표면에 일부 남게 함으로써 상부의 높은 점도의 콤포지트 레진과 결합될 수 있도록 하기 위하여, 단일용액형 상아질 접착제 제품에 따라 1~2회 도포한다. Multi-component 시스템의 경우는 5~6회 반복하여 연속적으로 도포하도록 권장하고 있는 것과 달리 더 적은 횟수만큼 도포해도 되는 것으로 사용지침이 되어있는 것은, 단일용액형 상아질 접착제의 용액내 레진 함량비가 multi-component 시스템 프라이머의 용액내 레진 함량비에 비해 약 3배에 이르기 때문에 2회 도포로도 충분한 두께의 레진층이 생겨 산소의 방해에 의해 불완전 중합된 상부의 레진이 콤포지트 레진과 결합될 수 있기 때문이다. 그러나, 단일 용액형 상아질 접착제의 경우에도 4회 연속적으로 도포하는 것이 우수한 결과를 보였다는 보고도 있다.

어쨌든 충분한 양을 반복 도포하여 항상 접착레진으로 덮이지 않는 부분이 없도록 하는 점에 유념하여야 한다.

② Prime&Bond NT의 경우 한번 도포한 후 상아질 내로 스며들고 용매가 날아갈 시간을 주기 위하여 20초간 기다린 후 용매를 공기층으로 건조하고 광중합시키며, Syntac single component의 경우는 한번 도포하고 20초간 기다린 후 건조, 광중합하고 재차 두 번째 도포, 건조, 광중합하기도 한다. PQ1과 One Coat Bond의 경우는 발라준 후 문질러주도록(scrub) 권장하고 있다. 이처럼 해주는 이유는 점도도 낮추고 압박을 주어서 컨디션닝된 상아질 표면과 상아세관 내 깊숙이 까지 침투해 들어갈 수 있도록 하기 위해서이다.

다른 많은 단일용액형 상아질 접착제들은 2회 연속적으로 도포하도록 권장하고 있다.

어느 제품을 사용하던지 주의할 점은 상아질 접착제를 처리하여 노출된 상아질이 접착 레진에 의해 모두 덮여져야 하며, 그 표면은 콤포지트 레진과 반응할 수 있는 레진이 남아 있도록 표면의 레

진 용액에 의한 광택이 보이는 상태를 만들어 주어야 한다는 점을 기억하여야 한다.

③ 상아질 접착제 처리 후 레진이 완전히 경화되고 술후 지각과민이 초래되는 것을 예방할 수 있도록 하기 위해서 상아질 접착제에 함유된 용매를 충분히 건조시켜주어야 한다. 또한, 접착 레진이 탈회된 상아질 저부까지 완전히 침투해 들어가고 레진 층이 너무 두껍지 않으며 면이 골라서 응력집중을 피할 수 있도록 하기 위하여 압축공기를 사용하여 건조 및 평평하게 하기를 시행한다. 제품에 따라 1~5초까지 지시 사항은 다양하다. 이는 각 제품의 점도와 용매에 따라 그 차이가 있는 것이다.

이때 주의할 점은, 처음부터 지나치게 세게 불면, 경화전의 표면 레진이 압축공기에 의해 밀려서 균일한 레진막이 덮여지지 않을 수 있기 때문에, 처음에는 에어 쉬린지를 접착면에서부터 약간 떨어져서 약하게 공기를 불어 용매를 충분히 날려버린 다음, 접착제의 점도가 높아지면 비로소 세게 불어 완전히 용매를 건조시켜 주어야 한다.

④ 접착제의 건조가 끝나면 콤포지트 레진을 축성하기 전에 광중합을 시켜주어서, 콤포지트 레진에 의해 광선이 도달하지 못하여 혼성층의 중합이 불완전하게 되는 것을 방지하고, 콤포지트 레진의 중합수축력에 견딜 수 있는 강도를 미리 갖추도록 한다.

⑤ 많은 제품들이 도포된 접착제를 광중합시킨 후, 붓끝에 남은 접착제를 표면에 추가적으로 발라준 후 광중합하지 않은 상태로 콤포지트 레진을 축성하고 함께 중합시켜서, 접착성 레진과 콤포지트 레진의 결합이 완벽히 이루어질 수 있게 권장하고 있다.

⑥ 여러 단일용액형 상아질 접착제 중에서 Optibond Solo와 Prime&Bond 2.1은 화학중합형 콤포지트 레진에는 접착성이 나쁘다. 또한, Optibond Solo는 20 μ m 두께의 필러가 함유된 접착제 층을 이루기 때문에 간접수복물과 함께 사용하기에는 적절치 않다. 그에 반해 Prime&Bond 2.1은 성분내의 cetylamine hydrofluoride가 과민치아

의 탈감작(desensitizing)에 효과적이어서, 인레이나 크라운 제작을 위한 치질삭제 후에 한번만 칠해주어도 심한 과민증을 즉시 완화시켜준다고 하며, 적절히 사용한다면 접착제를 중합시킨 후에도 간접수복물의 삽입 접착에 방해가 되지 않을 정도로 충분히 얇은 장점이 있다(EDRG, 1998).

5. 자가부식 접착시스템

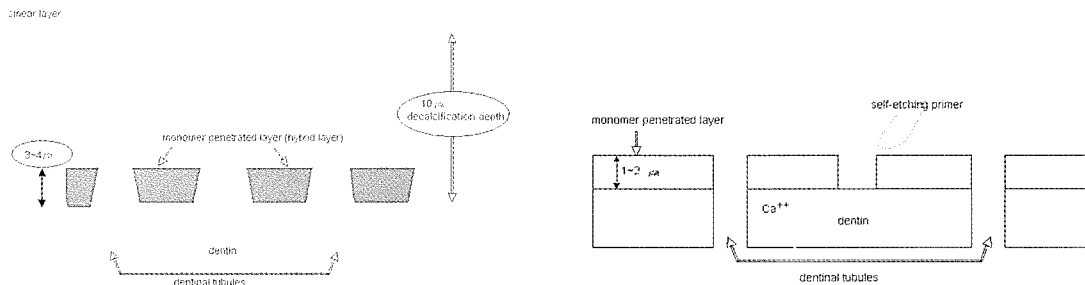
1) 자가부식 접착시스템(self-etching adhesive system)의 출현 배경과 장점

Kiyomura(1987)는 상아질을 인산으로 30초간 산부식한 후 접착레진 처리하고 콤포짓트 레진으로 수복하여 물속에 아무 하중 응력이 없이 5년간 보관한 결과 레진-상아질 계면의 분리가 일어남을 보고하였고, 이는 인산에 의해 상아질이 과도하게 탈회되어 하부의 탈회된 부위까지 레진이 충분히 침투해 들어가지 못하기 때문에 노출된 콜라겐 섬유망이 완전히 레진에 싸여진 하이브리드 층이 형성되지 않아서 시간에 따라 변성되기 때문이라고 하였다.

최근 연구들에서도 encapsulation 되지 않은 무기결정 사이로의 나노 누출(nano-leakage)은 레진이

나 콜라겐을 가수분해하는 효소의 통로가 될 수 있으므로 산처리에 의해 탈회된 모든 부위는 레진으로 대체되어야 할 필요성이 제시되고 있다 (Spencer 등, 1999; Hashimoto 등, 2000; Li 등, 2000; Pioch 등, 2001). 즉, 상아질 접착제 사용의 장기적 성공 여부는 상아질과 레진 사이의 강한 결합뿐만 아니라 결합계면에서의 미세누출(microleakage) 및 나노누출(nanoleakage)이 없도록 산부식 처리에 의해 노출된 콜라겐섬유 사이나 부분탈회된 무기결정 사이 및 노출된 상아세관이 화학적 결합기전을 갖는 레진에 의해 채워져야 한다(Sano 등, 1995; Yoshida 등, 2000).

자가부식 접착제(self-etching adhesive)인 제 6세대 상아질 접착제는 상아질 표면의 컨디셔닝 역할을 인산 수용액(phosphoric acid solution, pH = 0.6~1) 대신 더 약한 산성의 단량체(mild acidic monomer)를 사용한다. 따라서, 인산에 의해서는 상아질이 10 μ m 정도 부식되는 반면, 자가부식 프라이머에 의해서는 산처리에 의해 탈회된 상아질 층이 1~2 μ m로 얇아서 치질의 손상이 더 적다. 또한, 산부식 동안 치질의 수산화인회석을 분해함과 동시에 그 자체가 칼슘 이온과 킬레이션 결합을 하기 때문에 상아질에 대한 과도한 산부식 작용의 우려



(가) 인산수용액으로 처리된 상아질의 탈회정도를 나타낸 모식도. 약 10 μ m의 탈회 깊이와 약 3~4 μ m의 하이브리드 층(hybrid layer)을 형성한다.

(나) 자가부식 프라이머를 사용하여 처리된 상아질의 탈회정도를 나타낸 모식도. 스미어층과 탈회된 성분이 자가부식 프라이머와 반응하여 약 1~2 μ m 두께의 하이브리드 층을 형성한다.

그림 5. 인산 수용액을 사용한 경우와 자가부식 프라이머를 사용한 경우의 상아질 탈회깊이와 하이브리드 층 두께의 차이를 나타낸 모식도.

가 적고 인산을 사용한 산처리의 경우보다는 나노 누출 우려가 더 없을 것으로 기대된다. 또한, 인산으로 산처리를 시행한 경우는 수산화인회석 결정이 녹아나 물 세척에 의해 씻겨져 나가지만, 자가부식 상아질 접착제를 사용할 경우는 산처리 후 물로 세척하지 않기 때문에 친수성 콜라겐 섬유에 무기 수산화인회석 결정이 붙어 있어서 레진의 젖음성이 더 우수한 장점이 있다(Nakabayashi 등, 1998).

그 외에도, 자가부식 접착제(self-etching adhesive) 시스템은 부식후 물로 세척하는 과정이 없기 때문에 세척동안의 물의 압력에 의한 출혈이 없고 찬 물에 의한 자극이 없으며 불쾌한 맛을 경험하지 않게 되는 장점도 있다. 또한, 자가부식 접착제가 스미어 층을 제거하고 상아질의 무기질을 부분 탈회시키는 동안에 그 자체가 콜라겐 층 사이 사이로 스며들기 때문에, 인산을 사용하여 산부식 처리를 하는 경우에서 볼 수 있는 세척과정이 없어 치료단계를 간소화하는 장점이 있고, 인산용액을 사용한 후 세척하고 상아질 표면의 수분유지에 신경을 써야하는 과정이 없기 때문에 술식 민감도가 낮은 큰 장점이 있다.

표 2. 상용되는 자가부식 프라이머(self-etching primer)에서 사용되는 다양한 접착성 레진 모노머

접착성 레진 모노머	상품명
MDP	Clearfil SE-Bond (Kuraray)
MAC-10	Mac Bond II (Tokuyama)
Methacrylated phosphoric acid monomer, MAC-10	One-Up Bond F (Tokuyama)
Methacrylated phosphoric acid monomer	Prompt L-pop (3M ESPE)
4-AET or 4-AETA	Reactmer Bond (Shofu)
4-META	AQ bond (Sun Medical)

4-META = 4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride
 4-AETA = 4-acryloyloxyethyl trimellitate anhydride
 MAC-10 = 10-methacryloyloxydecamethylene malonic acid
 MDP = 10-methacryloyloxydecamethylene phosphoric acid

접착성 레진 시멘트의 경우에 있어서도 자가부식 프라이머 시스템에서 사용되는 다양한 접착성

레진 모노머들이 함유되어서 화학적 접착 기능을 부여한다.

2) 자가부식 접착시스템(self-etching adhesive system)의 사용시 주의 사항

① 자가부식 접착시스템은 화학중합형 또는 이중중합형(dual-cured) 콤포짓트 레진과는 직접 접촉하여 함께 사용하지 않아야 한다. 왜냐하면, 자가부식 접착제를 중합한 후에도 표면에는 산소에 의해 중합이 방해받은 미중합된 산성의 레진 모노머 층(oxygen-inhibition layer)이 남아 있어서, 이것이 콤포짓트 레진 내의 아민(amine) 중합촉진제와 반응하여 charge-transfer complex를 형성하고 콤포짓트 레진이 완전한 중합을 할 수 없게 만들어서 접착의 실패를 초래하므로 주의를 요한다(Tay 등, 2001).

② 뿐만 아니라, 광중합형 콤포짓트 레진을 사용할 경우라도 콤포짓트 레진의 광중합 개시시간을 지연할 경우에는 나쁜 영향을 미친다. 이러한 현상은 다음과 같은 이유에서 초래된다. 즉, 자가부식 접착레진은 3 단계 접착시스템(multi-component adhesive)의 소수성 본딩 레진이 따로 있지 않고, 본딩레진 역할뿐만 아니라 산부식 특성과 프라이밍 역할을 하나의 용액으로 모두 할 수 있고, 수분이 있는 상아질에 잘 침투해 들어갈 수 있도록 하기 위해, 산성의 친수성 레진모노머를 사용하고 또한 접착제의 필름두께도 얇은 편이다. 따라서, 수분의 확산이 쉬운 반투과성 막(semi-permeable membrane)이라고 할 수 있다. 그러므로, 콤포짓트 레진을 충전한 후 광중합을 개시하기까지 시간을 지체하면 하방 상아질로부터 수분이 접착레진을 통과 확산하여 접착제와 콤포짓트 레진과의 계면에 수분을 함유한 레진 방울(globule)이 생기게 되어 접착실패의 원인이 된다. 여러 보고들에서 자가부식 접착시스템을 사용할 경우 콤포짓트 레진을 채워 넣은 후 광중합 개시 시기를 지연할 경우 인장 접착강도가 지속적으로 감소됨이 보고된다(Tay 등, 2001; Suh 등 2002).

③ 자가부식 접착제는 치질 탈회 후에 표면에서 씻어내지 않는다. 처음 적용시는 산이지만 작용동안에 탈회된 치질 성분과 킬레이션되면서 중화되기 때문에 산성에 의한 문제는 없어 씻어내지 않는다. 깊은 상아질에 접착시 인산을 사용한 total-etch 시스템에 비해 슬후과민증을 초래할 가능성이 더 적다고 한다.

④ 자가부식 접착제를 치질에 적용 후에는 공기로 건조시켜 에탄올, 아세톤, 물과 같은 용매를 없애주어야 한다. Miyazaki 등(1999)은 법랑질에 자가부식 접착제를 사용하여 접착할 경우, 접착제를 건조시키는 시간을 0~30초까지 점차 증가시켰을 때 건조시간이 증가함에 따라 접착강도가 향상됨을 보고하였다. 이러한 보고처럼 자가부식 접착제를 적용한 후 충분히 치질내로 스며들고 탈회치질 성분과 반응할 수 있는 여유를 준 후에는 충분한 건조가 필수적이다.

⑤ 자가부식 접착제는 산도가 인산에 비해 낮기 때문에 법랑질에 대해 적절한 탈회면을 얻기 위해서는 시간을 연장하거나, 법랑질 표면을 버(bur)로 약간 절삭한 후에 적용하면 접착강도가 크게 향상된다(Kanemura 등, 1999). 또한, 자가부식 접착제는 경화 상아질(sclerotic dentin) 또는 caries-affected 상아질에는 전통적인 인산을 사용하여 산부식한 경우에 비해 접착강도가 낮기 때문에 주의하여야 한다(Nakajima 등, 1999).

⑥ 자가부식 접착제 역시 치아에 적용시 제품에 따라서 1~3회로 횟수에 차이는 있지만 표면에 충분한 레진 층이 고르게 칠해져서, 접착제로 처리된 상아질 표면이 광택이 있을 정도까지는 칠해주는 횟수를 조절해주어야 하는 것에 유념해야 된다. Ogata 등(1999)은 자가부식 프라이머의 적용시 두 가지 방법으로 실험을 하였다. 첫째 방법은 프라이머를 한번 바른 후 제조사가 권장한 시간동안 그대로 방치한 후 건조시켰고, 둘째 방법은 프라이머를 제조사가 바른 후 방치하라고 권장한 시간동안에 대신 수차례 반복하여 발라주었다. 그런 결과 Liner Bond II의 경우는 둘째 방법처럼 수차례 반복 발라

준 경우가 접착강도가 크게 향상되었고, Fluoro Bond는 접착강도에 별 변화가 없음을 보고하였다. 이처럼 multiple 프라이머 적용방법의 효과는 제품에 따라 다르지만, 일반적으로 자가부식 프라이머 역시 치질에 대해 수차례 발라주는 것이 일반적으로 강한 접착을 얻는데 유리하다.

아래의 그림 6에서도 제품에 따라서는 자가부식 접착제의 적용을 수차례 반복해야 우수한 결과를 얻을 수 있음을 예상할 수 있다.

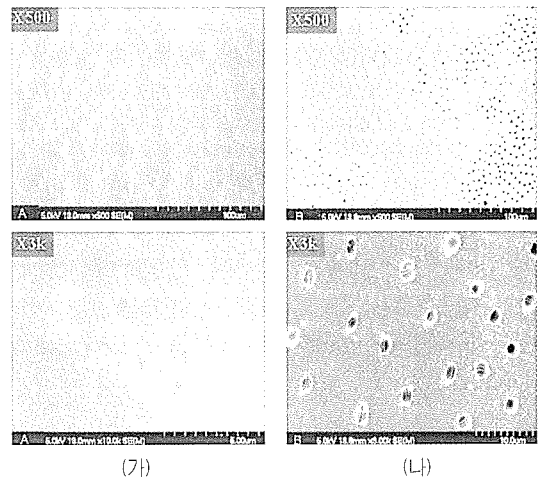


그림 6. 자가부식 접착제(self-etching adhesive)를 상아질에 처리해 준 후 광중합 시키고, 임계점건조 후 얻어진 전계방사형 주사전자현미경 사진. (가)제품의 경우는 접착레진이 상아질 표면을 균일하게 피복하고 있으나, (나)제품의 경우는 제조사의 지침에 따라 처리를 하였는데도 접착레진으로 채워지지 않은 노출 상아세관이 관찰된다. 레진 자체의 강도도 낮아서 상아세관 내에 채워진 레진이 광중합에 의해 크랙이 생긴 부분이 다수 관찰된다.

그림 6에서 (나)제품은 접착강도 실험결과에서도 다른 자가부식 접착제에 비해 매우 낮은 접착강도를 보였다. 이러한 제품에서는 제조사의 지침사항을 고려함과 동시에 접착제로 처리된 상아질 표면이 광택이 있을 정도로 충분히 레진으로 균일하게 피복되도록 칠해주는 횟수를 증가시켜주어야 할 것이다.

⑦ 가능하면 접착제의 자체 강도가 높아야한다. 그림 2에서 알 수 있듯이 (나)제품에서는 광조사에 의해 상아세관을 막고 있던 레진태그가 수축하여 상아세관 벽과 레진태그 사이의 결합이 파괴되고, 레진태그 자체에도 크랙이 형성되는 양상을 다수 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 상아질 접착제의 요구사항 중에는 치질 내로 잘 침투해 들어가고 화학적인 결합을 하여야 되는 것 외에도, 그 자체가 강도를 가지며 수복해 주는 콤포지트 레진의 중합 수축으로부터 오는 응력을 감당해낼 수 있는 충분한 결합강도를 가져야 함을 시사해준다.

맺음말

이상에서 각 상아질 접착제의 접착 개념을 짧게나마 설명하였고, 각 제품의 사용시 특히 주의하여야 할 사항에 대한 살펴보았다.

상아질 접착제는 더 사용 술식이 간편하도록 지속적으로 개선되고 있으며, 많은 제품들이 용매로서 물 또는 물/에탄올을 채택하고 있고, 나노 사이즈의 필러를 첨가하여 자체 강도를 증진시키고

있으며, 더 화학적으로 안정적이며 강한 화학결합을 얻을 수 있는 재료를 이용하고 있다. 진정한 단일용액형 상아질 접착제인 자가부식 접착제 (self-etching adhesive)는 술식이 더욱 간편하고, 상아질의 산부식 양이 적고 하이브리드 층의 두께가 얇더라도 강한 결합 강도를 갖도록 개선되고 있다.

사용방법의 단순화는 재료의 사용시 술자의 사용 부적절성에 따른 접착의 실패 빈도를 줄일 수 있고, 재료 사용시 번거로움 배제와 시술시간 절약에 따른 환자의 편의성이 증진되기 때문에, 접착치학에 있어 단일 용액형 접착시스템은 더욱 개발되어 용이하고 성공적으로 사용될 것으로 전망된다. 뿐만 아니라 별도의 접착제의 도움 없이도 치질에 화학적으로 결합하는 자가접착 수복재(self-adhesive restorative materials)가 등장할 수도 있을 것이다.

앞으로 계속 개발되는 상아질 접착제를 선택하고 사용함에 있어서, 앞에 기술한 내용을 참고로 신제품을 비교하여서 새로운 접착시스템의 변화된 점을 생각한다면, 그 재료의 사용에 성공적으로 대처할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces, J Dent Res 1955;34:849-853.
- Christensen GJ. Self-etching primers are here, J Am Dent Assoc 2001;132:1041-1043.
- Da Silva Telles PD, Aparecida M, Machado M, Nor JE. SEM study of a self-etching primer adhesive system used for dentin bonding in primary and permanent teeth, Pediat Dent 2001;23:315-320.
- Esthetic Dentistry Research Group. Dental adhesives - Single component, Reality 1998;12:145-147.
- Fitchie JG, Puckett AD, Hembree JH, Williams M. Evaluation of a new dentinal bonding system, Quintessence Int., 1993;24(1):65-70.
- Frankenberger R, Perdigão J, Rosa BT, Lopes M. "No-bottle" vs "multi-bottle" dentin adhesives - a microtensile bond strength and morphological study, Dent Mater 2001;17:373-380.
- Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin, J Dent Res 1979;58:1364-1370.
- Hashimoto M, Ohno H, Kaga M et al. In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years, J Dent Res 2000;79:1385-1391.
- Ikemura K, Endo T. An ATR-FTIR study on the interaction of adhesive with dentin, J Dent Res 1999;78(SI):225.
- Kanemura N, Sano H, Tagami J. Tensile bond strength to and SEM evaluation of ground and intact enamel surfaces, J Dent 1999;27:523-530.

참 고 문 헌

11. Kinney JH, Balooch M, Marshall GW, Marshall SJ. Atomic force microscopic study of dimensional in human dentin during drying, *Arch Oral Biol* 1993;38:1003-1007.
12. Kiyomura M. Bonding strength to bovine dentin with 4-META/MMA-TBB resin; Long-term stability and influence of water, *J Jpn Dent Mater* 1987;6:860-872.
13. Li H, Burrow MF, Tyas MJ. Nanoleakage of cervical restorations of four dentin bonding systems, *J Adhes Dent* 2000;2:57-65.
14. Miyazaki M, Hirohata N, Takagaki K et al. Influence of self-etching primer drying time on enamel bond strength of resin composites, *J Dent* 1999;27:203-207.
15. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates, *J Biomed Mater Res* 1982;16:265-273.
16. Nakabayashi N, Pashley DH. Hybridization of dental hard tissues, Tokyo, Quintessence Pub. Co., Ltd. 1998.
17. Nakagima M, Ogata M, Okuda M et al. Bonding to caries-affected dentin using self-etching primers, *Am J Dent* 1999;12:309-314.
18. Ogata M, Nakagima M, Sano H, Tagami J. Effect of dentin primer application on regional bond strength to cervical wedge-shaped cavity walls, *Oper Dent* 1999;24:81-88.
19. Okuda M, Pereira PN, Nakajima M, Tagami J. Relationship between nanoleakage and long-term durability of dentin bonds, *Oper Dent* 2001;26:482-490.
20. Pagliarini A, Rubini R, Rea M et al. Effectiveness of the current enamel-dentin adhesives: A new methodology for its evaluation, *Quintessence Int.* 1996;27(4):265-270.
21. Park YJ, Lim CH, Lee YR et al. Bond strength and Micro-morphology of dentin-adhesive interfaces formed by one-bottle-type adhesives, *J Dent Res* 2001;80(SI):658.
22. Pashley DH. Dentin Bonding. Overview of the substrate with respect to adhesive materials, *J Esthet Dent* 1991;3:46-50.
23. Paul SJ, Scharer P. Factors in dentin bonding. Part I & Part II: A review of the morphology and physiology of human dentin, *J Esthet Dent* 1993;1(1):5-9.
24. Pereira PN, Okuda M, Nakajima M et al. Relationship between bond strengths and nanoleakage: evaluation of a new assessment method, *Am J Dent* 2001;14:100-104.
25. Perdig o J, Frankenberger R, Rosa BT, Breschi L. New trends in dentin/enamel adhesion, *Am J Dent* 2000;3(SI):25D.
26. Perdig o J, Swift EJ Jr. Heymann HO. Malek MA. Effect of a re-wetting agent on the performance of acetone-based dentin adhesives, *Am J Dent* 1998;11:207-213.
27. Pioch T, Kobaslija S, Huseinbegovic A et al. The effect of NaOCl dentin treatment on nanoleakage formation, *J Biomed Mater Res* 2001;56:578-583.
28. Pioch T, Stotz S, Buff E et al. Influence of different etching times on hybrid layer formation and tensile bond strength, *Am J Dent* 1998;11:202-206.
29. Rosa BT, Perdig o J. Bond strengths of non-rinsing simplified adhesive materials, *Quintessence Int* 2000;31:353-358.
30. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B et al. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer, *Oper Dent* 1995;20:18-25.
31. Shinchi MJ, Soma K, Nakabayashi N. The effect of phosphoric acid concentration on resin tag length and bond strength of a photo-cured resin to acid-etched enamel, *Dent Mater* 2000;16:324-329.
32. Spencer P, Swafford JR. Unprotected protein at the dentin-adhesive interface, *Quintessence Int* 1999;30:501-507.
33. Suh BI, Tay FR, Pashley DH, Carvalho RM. Single-step adhesives are semi-permeable membranes. II. Morphologic and bond strength evidence, *J Dent Res* 2002;81(SI):A-469 #3829.
34. Tagami J, Tao L, Pashley DH. Correlation among dentin depth, permeability, and bond strength of adhesive resin, *Dent Mater* 1990;6:45-50.
35. Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM. Structural evidence of a sealed tissue interface with a total-etch wet-bonding technique in vivo, *J Dent Res* 1994;73:629-636.
36. Tay FR, Gwinnett JA, Wei SHY. Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free, acetone-based,

참 고 문 헌

- single-bottle primer/adhesives, Dent Mater 1996;12:236-244.
37. Tay FR, King NM, Suh BI, Pashley DH. Effect of delayed activation of light-cured resin composites on bonding of all-in-one adhesive, J Adhes Dent 2001;3(3):207-225.
 38. Van Meerbeek B, Conn LJ Jr, Duke ES. Correlative nondemineralized and demineralized TEM examination of the resin-dentin interface formed by two dentin adhesive systems, J Dent Res 1996;75:879-888.
 39. Van Meerbeek B, Dhem A, Goret-Nicaise M et al. Comparative SEM and TEM examination of the ultrastructure of the resin-dentin interdiffusion zone, J Dent Res 1993;72(2):495-501.
 40. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M. Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems, J Dent Res 1992;71:1530-1540.
 41. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S et al. Microscopy investigations. techniques, results, limitations, Am J Dent 2000;13:3-18.
 42. Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y et al. Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissue interfaces, J Dent Res 2000;79:709-714.